

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pelatihan model, evaluasi komparatif, serta implementasi sistem rekomendasi optimasi BTS 4G di wilayah Jabodetabek dengan menggunakan data periode November 2023, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Performa Model *Machine Learning* Terbaik. Dari lima algoritma yang dievaluasi, XGBoost menunjukkan kinerja paling unggul dan ditetapkan sebagai *champion* model dengan skor komposit tertinggi sebesar 0,853. Model ini memiliki performa yang sangat *robust*, ditunjukkan dengan oleh nilai AUC-ROC sebesar 0,976 dan nilai *Recall* sebesar 0,864. Tingginya nilai AUC mengindikasikan kemampuan diskriminasi yang sangat baik dalam membedakan situs sehat dan bermasalah. Sementara itu, nilai *Recall* yang tinggi menunjukkan sensitivitas model yang optimal dalam mendeteksi Sebagian besar anomali jaringan, sehingga risiko terjadinya *false negative* yang berpotensi menyebabkan gangguan jaringan kritis dapat diminimalkan.
2. Sistem rekomendasi yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang realistis dalam memproses sebanyak 2.668 *site-day combinations*. Dengan menerapkan kriteria penentuan target yang ketat (*STRICT*), sistem memprediksi bahwa hanya 597 *site-days* (22,4%) yang memerlukan tindakan optimasi, sedangkan 2.071 sisanya (77,6%) berada dalam kondisi normal. Hal ini menunjukkan efektivitas sistem dalam menyaring *noise*, dan memfokuskan perhatian operasional pada sejumlah kecil titik kritis yang berdampak signifikan, sejalan dengan prinsip Pareto (80/20).
3. Berdasarkan hasil prediksi tersebut, sistem selanjutnya menghasilkan 1.819 rekomendasi tindakan teknis yang dikelompokkan ke dalam tiga *priority tiers* sesuai dengan kerangka kerja ITIL 4, yaitu:

- **P1-Critical (12,2%):** Memerlukan tindakan segera (respon 15 menit).
 - **P2-High (25,6%):** Prioritas tinggi (respon 1 jam).
 - **P3-Medium (62,3%):** Pemeliharaan preventif (respon 4 jam).
4. Efisiensi Sumber Daya dan Kategori Dominan. Berdasarkan klasifikasi kategori teknis, permasalahan yang paling dominan berada pada aspek *Coverage Optimization* dengan total 740 rekomendasi, diikuti oleh kategori *Reliability* sebanyak 619 rekomendasi dan *Quality* sebanyak 519 rekomendasi. Dari perspektif efisiensi eksekusi, sistem mengidentifikasi bahwa 1.284 tindakan (68%) dapat diselesaikan melalui mekanisme otomatis atau jarak jauh (*remote actions*), sementara hanya 224 tindakan yang memerlukan intervensi langsung melalui kunjungan lapangan (*field visits*). Temuan ini menunjukkan potensi penghematan waktu dan biaya operasional yang signifikan dibandingkan dengan pendekatan penanganan gangguan secara konvensional.
 5. Implementasi *Dashboard* Visualisasi. Antarmuka berbasis web yang dikembangkan menggunakan *Streamlit* telah berhasil diimplementasikan untuk memvisualisasikan data pemantauan 92 situs BTS selama periode 29 hari. *Dashboard* ini berperan sebagai media integrasi antara hasil analisis berbasis *Machine Learning* dan kebutuhan operasional di lapangan, dengan menyediakan fitur visualisasi peta persebaran gangguan, analisis tren harian, serta fasilitas pengunduhan *work order* digital yang mendukung proses pengambilan keputusan oleh tim operasional.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan batasan telah ditetapkan, beberapa saran strategis dapat diajukan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Integrasi Modul dengan Sistem OSS/BSS Eksisting. Pengembangan selanjutnya sangat disarankan untuk membangun modul integrasi (*integration modules*) yang terhubung langsung dengan sistem *Operations*

Support System (OSS) dan *Business Support System (BSS)* milik operator seluler. Integrasi ini bertujuan mendukung proses operasional yang lebih terotomasi, di mana rekomendasi sistem dapat secara langsung memicu pembuatan tiket perbaikan (*trouble tickets*) atau eksekusi parameter optimasi jaringan tanpa intervensi manual.

2. Ekspansi Geografis dan Temporal untuk Generalibilitas Sistem. Per (*system generalizability*). Penggunaan data historis dengan rentan waktu yang lebih panjang serta variasi karakteristik wilayah akan memungkinkan model mengenali pola musiman dan perbedaan lingkungan jaringan, sehingga meningkatkan adaptabilitas dan keandalan sistem rekomendasi.
3. Eksplorasi *Deep Learning* untuk Analisis Deret Waktu. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi penerapan arsitektur *Deep Learning* seperti *Long Short-Term Memory (LSTM)* atau *Gated Recurrent Unit (GRU)*. Pendekatan ini berpotensi menangkap dependensi jangka panjang (*long-term dependencies*) pada pola trafik jaringan secara lebih akurat dibandingkan metode pembelajaran mesin konvensional.
4. Pengembangan sistem selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data keluhan pelanggan atau data berbasis *crowdsourcing* guna menambahkan dimensi *Quality of Experience (QoE)*. Integrasi ini memungkinkan penentuan prioritas optimasi jaringan yang tidak hanya berlandaskan parameter teknis, tetapi juga mempertimbangkan dampak langsung terhadap pengalaman pengguna (*Quality of Experience*).
5. Adaptasi Sistem untuk Jaringan Generasi Mendatang (5G dan 6G). Sistem yang diusulkan berpotensi dikembangkan untuk jaringan generasi mendatang melalui pemanfaatan arsitektur modular yang telah dirancang. Pada konteks 5G, pengembangan dapat diarahkan pada integrasi metrik kualitas jaringan spesifik 5G seperti SSB-RSRP (*Synchronization Signal Block RSRP*), SS-SINR, dan CSI-RSRQ, serta penerapan *network slicing awareness* guna mendukung optimasi layanan eMBB, URLLC, dan mMTC. Selain itu, adopsi arsitektur Open Radio Access Network (O-RAN) dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan fleksibilitas dan interoperabilitas sistem. Dalam jangka panjang menuju 6G, penelitian lanjutan dapat

difokuskan pada pendekatan *AI-native networking*, pemanfaatan *digital twin* untuk optimasi proaktif, serta penguatan aspek keamanan jaringan. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini diharapkan menjadi fondasi bagi penelitian lanjutan dalam pengelolaan jaringan seluler yang cerdas dan otonom.